

DAUR OPTIMAL TEGAKAN GMELINA PADA DUA PROYEK KARBON: MEMPERPANJANG DAUR DAN AFORESTASI (*The Optimal Rotations of Gmelina Stand on Two Carbon Projects: Lengthening Rotation and Afforestation*)

Yonky Indrajaya¹ & Satria Astana²

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Agroforestry, Jl. Raya Ciamis-Banjar km 4, Ciamis, Indonesia
Email: yongky_indrajaya@yahoo.com

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial, Ekonomi, Kebijakan dan Perubahan Iklim
Jl. Gunung Batu No.5, Bogor, Indonesia
Email: astanasatria@yahoo.com

Diterima 22 November 2016, direvisi 25 November 2016, disetujui 12 Desember 2016

ABSTRACT

Forest plantation may contribute economically and socially as a provider of wood raw materials for industry and providing jobs for local people. In addition, forest plantation may also contribute as watershed protection and carbon sequestration. Projects on carbon sequestration from plantation forest can be conducted in two types: (1) afforestation and (2) lengthening forest rotation. One of the potential carbon markets operationalized in the field is voluntary market with Verified Carbon Standard mechanism. This study aimed to analyze the optimal rotations of gmelina forests on two carbon projects: lengthening rotation and afforestation. The method used in this study was by using Hartman model (i.e. Faustmann) by maximizing profit with the revenue source from timber and carbon sequestration project. The results of this study showed that carbon price will affect the optimal rotation for lengthening forest rotation of VCS project. Meanwhile, for VCS afforestation project, carbon price had no effect on the optimal rotation on gmelina forest. The NPV value of afforestation project was relatively higher than that of NPV value of lengthening forest rotation project, since the amount of carbon that can be credited relatively higher in afforestation project.

Keywords: Optimal rotation; gmelina; carbon project; NPV.

ABSTRAK

Hutan tanaman dapat berkontribusi secara ekonomi dan sosial yaitu penyedia bahan baku kayu untuk industri dan penyediaan lapangan pekerjaan bagi masyarakat. Selain itu, hutan tanaman dapat pula berkontribusi dalam pengaturan tata air dan penyerapan karbon. Proyek perdagangan karbon untuk hutan tanaman dapat dilakukan melalui beberapa cara antara lain dengan pembangunan hutan tanaman baru di lahan terbuka (*aforestasi*) dan memperpanjang daur tebang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daur optimal tegakan gmelina pada dua proyek karbon: memperpanjang daur dan aforestasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Faustmann yang dimodifikasi (yaitu Hartman) yaitu maksimasi keuntungan dengan sumber pendapatan dari kayu dan jasa lingkungan penyerapan karbon. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa harga karbon akan memengaruhi daur optimal tegakan gmelina pada proyek karbon VCS memperpanjang daur tebang. Sementara itu, pada proyek aforestasi VCS, tingkat harga karbon tidak memengaruhi daur optimal Faustmann. Nilai NPV proyek aforestasi relatif lebih tinggi dibandingkan nilai NPV proyek memperpanjang daur tebang karena jumlah karbon yang dapat dikreditkan relatif lebih tinggi pada proyek aforestasi.

Kata kunci: Daur optimal; gmelina; proyek karbon; NPV.

I. PENDAHULUAN

Keberadaan hutan rakyat penting sebagai salah satu pemasok kayu di Indonesia, karena semakin rendahnya produksi kayu dari hutan alam dan belum optimalnya pembangunan hutan tanaman (Astana et al., 2014; Diniyati & Awang, 2010). Salah satu jenis hutan rakyat yang banyak diusahakan oleh masyarakat di wilayah Priangan Timur (Kota Banjar dan Kabupaten Tasikmalaya) adalah jenis *Gmelina* (*Gmelina arborea* Roxb.). Alasan pemilihan jenis *Gmelina* oleh masyarakat adalah karena harga kayunya yang relatif tinggi (kurang lebih sama dengan jenis sengon) dengan tingkat pertumbuhan yang relatif cepat (Roshetko, Mulawarman, & Purnomosidhi, 2004). Karena kualitas dan penampakkannya yang relatif sama dengan sengon, kayu *Gmelina* dapat mensubstitusi kayu sengon pada beberapa keperluan.

Selain berfungsi untuk memproduksi kayu, hutan rakyat sebagai kumpulan pohon hutan dapat pula berfungsi lingkungan, yaitu dalam pengaturan tata air dan penyerapan karbon. Penjualan jasa lingkungan penyerapan karbon telah cukup lama digagas oleh para pihak dan telah diimplementasikan di beberapa negara di dunia melalui Mekanisme Pembangunan Bersih (*Clean Development Mechanism-CDM*) sektor kehutanan yaitu dengan proyek aforestasi dan reforestasi. Selain itu, keberadaan pasar karbon sukarela cukup penting keberadaannya di dunia dengan pertumbuhan yang cukup tinggi (Peters-Stanley, Hamilton, & Yin, 2012). Salah satu mekanisme dalam pasar karbon sukarela adalah VCS (*Verified Carbon Standard*) yang telah banyak diimplementasikan sejak 2008 (Kollmuss, Lazarus, Lee, LeFranc, & Polycarp, 2010). Proyek karbon hutan tanaman yang mungkin dilakukan oleh pengelola hutan tanaman adalah dengan cara meningkatkan jumlah karbon tersimpan rata-rata dalam setiap daurnya (*Verified Carbon Standard*, 2013a, 2013b) dengan cara aforestasi atau memperpanjang daur tebang. Kedua cara tersebut dapat dilakukan tergantung dari kondisi lahan yang ada. Pada kondisi dimana hutan rakyat *Gmelina* telah dikembangkan secara masif, memperpanjang daur tebang tentu lebih tepat dilakukan. Sementara itu, apabila lahan kosong atau padang rumput tersedia cukup luas, maka proyek aforestasi mungkin lebih tepat untuk dikembangkan.

Pada umumnya, penentuan daur tebang hutan tanaman termasuk hutan rakyat dilakukan untuk memperoleh keuntungan yang maksimal, apabila hanya mempertimbangkan kayu sebagai sumber pendapatan (Indrajaya & Siarudin, 2013; Indrajaya & Siarudin, 2015a). Apabila tidak hanya kayu yang diperhitungkan sebagai sumber pendapatan (misalnya ditambah penjualan jasa lingkungan karbon), maka daur optimal tegakan hutan dapat berubah tergantung pada besarnya pendapatan yang diperoleh dari penjualan jasa lingkungan tegakan hutannya dan waktu dilakukannya pembayaran jasa lingkungan tersebut. Besarnya pendapatan dan tata waktu penjualan jasa lingkungan karbon tersebut dipengaruhi oleh mekanisme yang digunakan dalam penjualan jasa lingkungan karbon.

Penelitian tentang pengaruh penjualan jasa lingkungan karbon terhadap daur optimal tegakan hutan tanaman telah banyak dilakukan di berbagai tempat di dunia pada berbagai jenis pohon hutan tanaman (Asante & Armstrong, 2016; Diaz-Balteiro & Rodriguez, 2006; Foley & Galik, 2009; Hoel, Holtsmark, 2014; Huang & Kronrad, 2006; Köthke & Dieter, 2010; Zhou & Gao, 2016). Olschewski and Benitez (2010) dalam penelitiannya di Ekuador pada jenis *Cordia alliodora* menemukan bahwa proyek aforestasi CDM dapat memperpanjang daur hingga dua kali lipat dibandingkan apabila tanpa proyek karbon. Sementara itu, Galinato and Uchida (2011) menemukan bahwa pada jenis yang cepat tumbuh, daur relatif tidak elastis terhadap harga karbon dibandingkan dengan jenis yang lambat tumbuh. Pada proyek CDM, jumlah karbon yang dapat dikreditkan adalah jumlah karbon total dari suatu tegakan hutan proyek aforestasi. Sementara itu, pada proyek karbon sukarela, jumlah karbon yang dapat dikreditkan pada proyek aforestasi adalah jumlah rata-rata karbon tersimpan dalam satu daur tebang. Jumlah karbon dapat memengaruhi daur optimal tegakan hutan tanaman. Penelitian tentang tambahan pendapatan dari jasa lingkungan karbon pada hutan tanaman ini belum banyak dilakukan di Indonesia. Padahal, penelitian ini cukup penting untuk dilakukan mengingat potensinya dalam memberikan tambahan pendapatan bagi petani pengelola hutan tanaman dan perbaikan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daur optimal tegakan gmelina pada dua proyek karbon: memperpanjang daur dan aforestasi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu rujukan dalam pengembangan hutan rakyat untuk mitigasi perubahan iklim.

II. METODE PENELITIAN

A. Daur Faustmann

Daur Faustmann ditentukan berdasarkan nilai kiwari atau *Net Present Value* (NPV) dari tegakan gmelina yang dihitung untuk semua rotasi/rotasi tak terhingga (Indrajaya & Siarudin, 2015a) dimana kayu menjadi satu-satunya sumber pendapatan dari tegakan hutan tanaman gmelina. Pada penelitian ini, karena proses verifikasi dan pembayaran jasa lingkungan karbon dilakukan tahunan, maka variabel waktu yang digunakan adalah variabel diskrit. Persamaan Faustmann untuk menentukan daur optimal secara finansial yaitu:

$$NPV^{kayu} = \frac{p_s(T) - K(1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \quad (1)$$

Keterangan:

p = harga kayu net biaya penebangan per m³ (Rp/m³)

K = biaya pembangunan hutan tanaman gmelina (Rp/ha), dan

i = suku bunga riil (%)

Daur optimal Faustmann (T) diperoleh ketika nilai NPV maksimum.

B. Daur Hartman

Daur Hartman merupakan modifikasi dari Faustmann dengan tambahan pendapatan dari penjualan jasa lingkungan karbon. NPV karbon merupakan jumlah pembayaran jasa lingkungan penyerapan karbon yang dibayarkan pada tahun tertentu hingga mencapai batas maksimum jumlah karbon yang dapat dikreditkan:

$$NPV^{karbon} = \frac{\sum_{t=1}^T p_c C_t (1+r)^{T-t}}{(1+r)^T - 1} \quad (2)$$

p_c = harga karbon (Rp/ton CO₂)

C_t = jumlah karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina pada waktu t (ton CO₂)

Keuntungan maksimum dari penjualan kayu dan jasa lingkungan karbon secara matematis adalah:

$$\max_T NPV^{kayu+karbon} = \frac{p_s(T) - K(1+r)^T + \sum_{t=1}^T p_c C_t (1+r)^{T-t}}{(1+r)^T - 1} \quad (3)$$

Jasa lingkungan karbon mulai dibayarkan ketika $C_t > C_{baseline}$ yaitu pada saat jumlah karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina lebih tinggi daripada rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa *baseline*. Pembayaran jasa lingkungan karbon dihentikan pada saat akumulasi karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina sama dengan rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina dalam satu daur proyek, yaitu $\sum_{t=1}^T C_t = \bar{C}_T$. Penelitian ini menggunakan dua jenis proyek karbon, yaitu: (1) aforestasi dimana pembangunan hutan tanaman gmelina dimulai dari padang rumput dengan nilai *baseline* sebesar 1,6 ton CO₂/ha (IPCC, 2006), dan (2) memperpanjang daur tebang gmelina (yaitu *baseline* merupakan rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina yang dikelola apabila hanya memper-timbangkan kayu sebagai sumber pendapatan). Berdasarkan penelitian Indrajaya & Siarudin (2015a), daur optimal gmelina adalah 10 tahun dengan rata-rata jumlah karbon tersimpan dalam tegakan gmelina adalah 62,70 ton CO₂/ha. Penelitian ini mengasumsikan tidak terjadinya kebocoran (*leakage*) dalam proyek karbon.

Berat biomassa tegakan gmelina dihitung dengan menggunakan persamaan allometrik yang dibuat oleh (Agus, 2001), yaitu:

$$AGB(t) = 0.06 (D(t)^2 H(t))^{0.99} \quad (4)$$

Dimana AGB merupakan berat biomassa pohon (kg/pohon), D merupakan diameter setinggi dada (cm) pada tahun ke- t dan H merupakan tinggi total (meter) pada tahun ke- t . Model estimasi pertumbuhan gmelina yang digunakan dalam penelitian ini adalah merujuk pada model pertumbuhan yang telah digunakan sebelumnya (Indrajaya & Siarudin, 2015a; Indrajaya & Siarudin, 2015b; Siarudin, Indrajaya, Suhaendah, & Badrunasar, 2014). (Fraksi karbon dalam biomassa adalah sebesar 0,47 (IPCC, 2006). Jumlah karbondioksida yang tersimpan dalam biomassa dihitung dengan mengalikan jumlah karbon tersimpan dalam biomassa dengan rasio berat molekul CO₂ dan unsur C, yaitu 44/12.

Data ekonomi pengelolaan hutan tanaman gmelina yang digunakan merujuk pada Indrajaya & Siarudin (2015a), yaitu: (1) biaya penanaman gmelina adalah sebesar Rp14.590.000 per ha, (2) harga kayu per m³ adalah Rp500.000, (3) biaya pemanenan sebesar Rp50.000, dan (4) suku bunga riil yang digunakan adalah sebesar 4%. Nilai tukar rupiah terhadap dolar yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai tukar rupiah terhadap dolar tahun 2015 yaitu Rp13.389 (World Bank, 2016).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari sampai dengan April 2016 di Kabupaten Banjar dan Tasikmalaya, Jawa Barat. Penelitian ini merupakan lanjutan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Indrajaya & Siarudin (2015a) dan Indrajaya & Siarudin (2015b).

B. Karbon Tegakan Gmelina dalam proyek VCS

Verified Carbon Standard (VCS) merupakan salah satu pasar karbon sukarela berdasarkan sistem *baseline and crediting* yang menggunakan mekanisme sertifikasi bahwa proyek menyebabkan penurunan emisi gas rumah kaca secara aktif (Dewan Nasional Perubahan Iklim, 2013). Pada umumnya proyek yang mengikuti VCS adalah proyek yang tidak dapat mengikuti CDM, karena tidak memenuhi syarat CDM atau karena tidak adanya metodologi dalam CDM. Dewan Nasional Perubahan Iklim (2013) melaporkan bahwa hingga tahun 2013, proyek VCS yang telah dikembangkan di Indonesia adalah sebanyak 11 proyek, dan telah menghasilkan 2,9 juta VCU (*Verified Carbon Unit*).

Dalam penelitian ini, proyek karbon yang dianalisis adalah memperpanjang daur tebangan tegakan gmelina (A) dan pembangunan tegakan gmelina di tanah kosong/aforestasi (B). Oleh karenanya, *baseline* yang digunakan pun berbeda untuk dua proyek karbon tersebut. Untuk proyek A, *baseline* yang digunakan adalah jumlah karbon rata-rata tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina apabila hanya mempertimbangkan kayu sebagai satu-satunya pendapatan dari tegakan gmelina,

yaitu tegakan pada daur Faustmann. Daur Faustmann tegakan gmelina berdasarkan Indrajaya and Siarudin (2015a) adalah 10 tahun, yaitu dengan nilai *Land Expectation Value* (LEV) sebesar Rp57.979.645. Jumlah rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina daur 10 tahun adalah sebesar 62,70 ton CO₂ equivalent/ha (Tabel 1). Sementara itu, pada proyek B, *baseline* diasumsikan adalah sebesar 1,6 ton CO₂/ha.

Jumlah kredit karbon yang dapat dibayarkan pada proyek A disajikan dalam kolom 4 (Tabel 1). Karena proyek A merupakan proyek karbon dengan memperpanjang daur tebangan, maka jumlah karbon yang dapat dikreditkan adalah selisih rata-rata jumlah karbon tersimpan dalam biomassa setelah tahun ke-10 (kolom 5). Pada tahun ke-10 proyek A, jumlah karbon yang dapat dikreditkan adalah nol, karena jumlah karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina pada tahun ke-10 sama dengan *baseline*. Semakin lama daur terbang, semakin tinggi jumlah karbon yang dapat dikreditkan, misalnya pada tahun ke-11, jumlah karbon yang dikreditkan pada proyek A adalah sebesar 4,88 ton CO₂/ha, sementara itu pada tahun ke-20 jumlah karbon yang dapat dikreditkan adalah sebesar 36,13 ton CO₂/ha. Pada proyek B, jumlah karbon yang dapat dikreditkan dapat dihitung mulai tahun ke-1, karena *baseline* yang digunakan adalah nol. Penerbitan VCU dimulai pada tahun ke-6 proyek A dan tahun ke-1 proyek B.

Tabel 2 menunjukkan detail jumlah dan waktu penerbitan VCU proyek A dan B. Proses verifikasi untuk penerbitan VCU diasumsikan dilakukan pada tahun yang sama diterbitkannya VCU. Jumlah VCU yang diterbitkan pada proyek A pada tahun ke-6 adalah sebesar 4,88 ton CO₂/ha. Jumlah ini adalah selisih dari rata-rata karbon tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina daur 11 tahun dengan *baseline* (yaitu daur 10 tahun). Memperpanjang daur selama satu tahun akan menambah jumlah CO₂ yang tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina sebanyak 4,88 ton/ha. Sementara itu, pada proyek dengan daur 12 tahun, atau memperpanjang daur terbang selama dua tahun, maka jumlah tambahan CO₂ yang dapat diserap adalah sebanyak 9,44 ton CO₂ yang penerbitan VCUnya juga dilakukan dimulai pada tahun ke-6. Jumlah maksimum VCU maksimum yang dapat diterbitkan pada tahun ke-6 proyek A adalah sebanyak 11,81 ton CO₂/ha, sehingga misalnya

Tabel 1. CO₂ equivalent tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina dan jumlah kredit CO₂ equivalent
 Table 1. CO₂ stored in gmelina forest biomass and the amount of CO₂ credited

| Waktu (Time) (Tahun / Year) | CO2tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah (CO2stored in above ground biomass) (ton CO2/ha) | Rata-rata CO2 (CO2average) (ton CO2/ ha) | 3 | | 4 = 2-3 | | 5 = 1-3 | | 6 | | 7 | |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| | | | Data dasar Baseline (ton CO2/ha) | | Jumlah karbon kredit Amount of credited CO2 (ton CO2/ha) | | Tambahan Additionality (ton CO2/ha) | | Perubahan jumlah CO2tersimpan karena pertumbuhan (Changes of CO2due to growth of gmelina stand) (ton CO2/ha) | | Unit karbon terverifikasi yang tersedia pada tahun ke-t (1 st verified carbon unit available at year t) (ton CO2/ha) | |
| | | | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B |
| 1 | 6,06 | 6,06 | 62,70 | 1,60 | -56,64 | 4,46 | -56,64 | 4,46 | 0,0 | 6,06 | 0,0 | 6,06 |
| 2 | 19,85 | 12,95 | 62,70 | 1,60 | -49,74 | 11,35 | -42,85 | 18,25 | 13,79 | 13,79 | 0,0 | 13,79 |
| 3 | 34,00 | 19,97 | 62,70 | 1,60 | -42,73 | 18,37 | -28,70 | 32,40 | 14,15 | 14,15 | 0,0 | 14,15 |
| 4 | 47,63 | 26,88 | 62,70 | 1,60 | -35,81 | 25,28 | -15,07 | 46,03 | 13,63 | 13,63 | 0,0 | 13,63 |
| 5 | 60,41 | 33,59 | 62,70 | 1,60 | -29,11 | 31,99 | -2,29 | 58,81 | 12,79 | 12,79 | 0,0 | 12,79 |
| 6 | 72,23 | 40,03 | 62,70 | 1,60 | -22,67 | 38,43 | 9,53 | 70,63 | 11,81 | 11,81 | 11,81 | 11,81 |
| 7 | 83,02 | 46,17 | 62,70 | 1,60 | -16,53 | 44,57 | 20,32 | 81,42 | 10,80 | 10,80 | 10,80 | 10,80 |
| 8 | 92,80 | 52,00 | 62,70 | 1,60 | -10,70 | 50,40 | 30,10 | 91,20 | 9,78 | 9,78 | 9,78 | 9,78 |
| 9 | 101,58 | 57,51 | 62,70 | 1,60 | -5,19 | 55,91 | 38,88 | 99,98 | 8,78 | 8,78 | 8,78 | 8,78 |
| 10 | 109,41 | 62,70 | 62,70 | 1,60 | 0,00 | 61,10 | 46,71 | 107,81 | 7,83 | 7,83 | 7,83 | 7,83 |
| 11 | 116,32 | 67,57 | 62,70 | 1,60 | 4,88 | 65,97 | 53,63 | 114,72 | 6,92 | 6,92 | 6,92 | 6,92 |
| 12 | 122,38 | 72,14 | 62,70 | 1,60 | 9,44 | 70,54 | 59,68 | 120,78 | 6,06 | 6,06 | 6,06 | 6,06 |
| 13 | 127,63 | 76,41 | 62,70 | 1,60 | 13,71 | 74,81 | 64,93 | 126,03 | 5,25 | 5,25 | 5,25 | 5,25 |
| 14 | 132,12 | 80,39 | 62,70 | 1,60 | 17,69 | 78,79 | 69,42 | 130,52 | 4,49 | 4,49 | 4,49 | 4,49 |
| 15 | 135,91 | 84,09 | 62,70 | 1,60 | 21,39 | 82,49 | 73,21 | 134,31 | 3,79 | 3,79 | 3,79 | 3,79 |
| 16 | 139,05 | 87,52 | 62,70 | 1,60 | 24,83 | 85,92 | 76,35 | 137,45 | 3,14 | 3,14 | 3,14 | 3,14 |
| 17 | 141,58 | 90,70 | 62,70 | 1,60 | 28,01 | 89,10 | 78,88 | 139,98 | 2,53 | 2,53 | 2,53 | 2,53 |
| 18 | 143,55 | 93,64 | 62,70 | 1,60 | 30,94 | 92,04 | 80,85 | 141,95 | 1,97 | 1,97 | 1,97 | 1,97 |
| 19 | 145,00 | 96,34 | 62,70 | 1,60 | 33,65 | 94,74 | 82,31 | 143,40 | 1,46 | 1,46 | 1,46 | 1,46 |
| 20 | 145,99 | 98,83 | 62,70 | 1,60 | 36,13 | 97,23 | 83,29 | 144,39 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 |

Keterangan (Remark): A = proyek VCS dengan memperpanjang daur tebangan gmelina; B = proyek VCS dengan kegiatan aforestasi (A = VCS project of lengthening forest rotation of gmelina stand; B = VCS project of afforestation)

Sumber (Source): Data sekunder diolah (Analysis of secondary data)

Tabel 2. Jumlah kredit CO₂ pada tiap daur dan waktu penerbitan VCU
 Table 2. The amount of CO₂ credit and time for releasing VCU

| Daur (<i>Rotation</i>) (Tahun/ <i>Year</i>) | | Unit karbon terverifikasi pada tahun ke-t (<i>VCU in year t</i>) | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total VCU (ton CO2/ha) | |
|---------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|------|------|------|------|-------|--------|-------|---------------------------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | | | | | | | | |
| A | B | B | B | B | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | | |
| | 1 | 6,06 | | | | | | | | | | | | | | | | 0,00 | 6,06 | | |
| | 2 | 6,06 | 5,30 | | | | | | | | | | | | | | | 0,00 | 12,9 | | |
| | 3 | 6,06 | 12,31 | | | | | | | | | | | | | | | 0,00 | 19,97 | | |
| | 4 | 6,06 | 13,79 | 5,43 | | | | | | | | | | | | | | 0,00 | 26,88 | | |
| | 5 | 6,06 | 13,79 | 12,14 | | | | | | | | | | | | | | 0,00 | 33,59 | | |
| | 6 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 4,43 | | 4,88 | | | | | | | | | | | 4,88 | 40,03 | | |
| | 7 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 10,57 | | 9,44 | | | | | | | | | | | 9,44 | 46,17 | | |
| | 8 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 2,77 | 11,81 | | | | 1,90 | | | | | | | 13,71 | 52,00 | | |
| | 9 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 8,28 | 11,81 | | | | 5,88 | | | | | | | 17,69 | 57,51 | | |
| | 10 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 0,69 | | | 9,58 | | | | | | | 21,39 | 62,70 | | |
| | 11 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 5,56 | | 10,80 | | | 2,22 | | | | | 24,83 | 67,57 | | |
| | 12 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 10,13 | | 10,80 | | | 5,40 | | | | | 28,01 | 72,14 | | |
| | 13 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 2,58 | 10,80 | | | 8,33 | | | | 30,94 | 76,41 | | | |
| | 14 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 6,56 | 10,80 | | | 9,78 | 1,26 | | | 33,65 | 80,39 | | | |
| | 15 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,26 | 10,80 | | | 9,78 | 3,74 | | | 36,13 | 84,09 | | | |
| | 16 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 6,01 | | | 38,40 | 87,52 | | | |
| | 17 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,09 | | | 40,47 | 90,70 | | | |
| | 18 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 9,02 | 1,19 | | 42,36 | 93,64 | | | |
| | 19 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 1,95 | 2,89 | 44,06 | 96,34 | | | |
| | 20 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 4,43 | 4,43 | 45,60 | 98,83 | | | |
| | 21 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 6,70 | 5,80 | 46,97 | 101,10 | | | |
| | 22 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 8,77 | 7,03 | 48,20 | 103,17 | | | |
| | 23 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 8,78 | 7,83 | 49,28 | 105,05 | | | |
| | 24 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 1,87 | 0,28 | 50,22 | 106,76 | | | |
| | 25 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 3,58 | 1,23 | 51,04 | 108,29 | | | |
| | 26 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | 5,11 | 2,05 | | | | | |
| | 27 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | | | | | | | |
| | 28 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | | | | | | | |
| | 29 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | | | | | | | |
| | 30 | 6,06 | 13,79 | 14,15 | 13,63 | 12,79 | 11,81 | 11,81 | 10,80 | 10,80 | | | 9,78 | 8,78 | | | | | | | |

Keterangan (Remark): A = proyek VCS dengan memperpanjang daur tebangan gmelina; B = proyek VCS dengan kegiatan aforestasi (A = *VCs project of lengthening forest rotation of gmelina stand*; B = *VCs project of afforestation*)
 Sumber (Source): Data sekunder diolah (*Analysis of secondary data*)

pada daur 13 tahun, penerbitan jumlah VCU yang diterbitkan adalah sebanyak 11,81 ton CO₂/ha pada tahun ke-6, dan 1,9 ton CO₂/ha pada tahun ke-7.

Pada proyek B, karena *baseline* yang digunakan relatif kecil, atau pembangunan tegakan gmelina dilakukan di padang rumput, maka pada tahun ke-1 dimana tegakan gmelina mulai tumbuh, telah ada tambahan karbon tersimpan dalam biomassa di lahan tersebut, yaitu sebesar 4,46 ton CO₂ equivalent per ha. Jumlah karbon yang dapat dijual dalam bentuk VCU pada proyek B lebih besar dibandingkan dengan proyek A karena pada proyek B, *baselinenya* relatif lebih rendah dibandingkan *baseline* pada proyek A. Misalnya, pada daur 11 tahun, proyek A hanya dapat menambah karbon tersimpan sebanyak 4,88 ton CO₂/ha, sedangkan proyek B dapat menambah karbon tersimpan sebanyak 65,97.

C. Daur Optimal Tegakan Gmelina dalam Proyek Karbon

Daur optimal tegakan gmelina pada proyek karbon sangat ditentukan oleh tingkat harga karbon yang digunakan dalam perhitungan. Harga karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5, 10, 20, dan 50 USD/ton CO₂ berdasarkan laporan dari Peters-Stanley *et al.* (2012) yang menyebutkan bahwa harga karbon dunia berada pada kisaran 0-

100 USD/ton CO₂. Nilai NPV dari proyek A pada beberapa harga karbon disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa peningkatan harga karbon berkorelasi positif dengan daur tebangan, yaitu semakin tinggi harga karbon daur optimal akan semakin panjang. Semakin tinggi tingkat harga karbon, semakin besar insentif untuk menunda penebangan tegakan gmelina karena semakin besarnya jumlah rata-rata karbon yang dapat tersimpan dalam biomassa tegakan gmelina untuk dijual sebagai jasa lingkungan karbon. Hasil penelitian ini kurang lebih sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Indrajaya and Siarudin (2015) pada hutan tanaman manglid yang juga menganalisis pengaruh pembayaran jasa lingkungan karbon pada proyek perpanjangan daur tebang. Namun pada tingkat harga yang sama, daur tebang gmelina relatif kurang sensitif terhadap harga karbon dibandingkan dur tegakan manglid. Misalnya, pada tingkat harga 50 USD/ton CO₂, waktu penundaan penebangan tegakan gmelina dan manglid berturut-turut adalah 6 dan 9 tahun. Hal ini terjadi karena jenis gmelina relatif cepat tumbuh dibandingkan dengan jenis manglid, dan pembayaran jasa lingkungan karbon (atau penerbitan VCU) dimulai relatif lebih cepat pada tegakan gmelina. Sementara itu, pada proyek karbon penanaman tegakan gmelina dari lahan kosong (aforestasi) hasilnya ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 3. NPV tegakan gmelina pada beberapa harga karbon pada proyek VCS perpanjangan daur tebang (dalam Rupiah)

Table 3. NPV of gmelina stand on different carbon prices of VCS project of lengthening forest rotation (in IDR)

| Daur (Rotation) (Tahun/Year) | Harga karbon (Carbon price) | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 0 USD/tCO ₂ | 5 USD/tCO ₂ | 10 USD/tCO ₂ | 20 USD/tCO ₂ | 50 USD/tCO ₂ |
| 6 | 41.161.061 | 42.223.530 | 43.285.998 | 45.410.936 | 51.785.748 |
| 7 | 49.412.418 | 51.375.390 | 53.338.362 | 57.264.305 | 69.042.136 |
| 8 | 54.285.508 | 57.009.940 | 59.734.373 | 65.183.237 | 81.529.830 |
| 9 | 56.906.517 | 60.277.771 | 63.649.026 | 70.391.534 | 90.619.060 |
| 10 | 57.979.645 | 61.912.920 | 65.846.195 | 73.712.744 | 97.312.393 |
| 11 | 57.968.954 | 62.383.179 | 66.797.404 | 75.625.855 | 102.111.206 |
| 12 | 57.192.568 | 62.023.136 | 66.853.703 | 76.514.838 | 105.498.242 |
| 13 | 55.875.223 | 61.070.686 | 66.266.150 | 76.657.076 | 107.829.857 |
| 14 | 54.179.365 | 59.690.127 | 65.200.890 | 76.222.416 | 109.286.993 |
| 15 | 52.224.478 | 58.006.781 | 63.789.084 | 75.353.690 | 110.047.507 |
| 16 | 50.099.586 | 56.119.234 | 62.138.882 | 74.178.178 | 110.296.067 |
| 17 | 47.871.611 | 54.097.977 | 60.324.342 | 72.777.073 | 110.135.266 |
| 18 | 45.591.145 | 51.902.705 | 58.214.264 | 70.837.382 | 108.706.737 |
| 19 | 43.296.514 | 49.633.255 | 55.969.996 | 68.643.477 | 106.663.922 |
| 20 | 41.016.715 | 47.374.909 | 53.733.102 | 66.449.489 | 104.598.650 |

Sumber (Source): Data sekunder diolah (*Analysis of secondary data*)

Tabel 4. NPV tegakan gmelina pada beberapa harga karbon pada proyek VCS aforestasi (dalam Rupiah)
Table 4. NPV of gmelina stand on different carbon prices of VCS project of afforestation (in IDR)

| Daur (Rotation) (Tahun/Year) | Harga karbon (Carbon price) | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 0 USD/tCO ₂ | 5 USD/tCO ₂ | 10 USD/tCO ₂ | 20 USD/tCO ₂ | 50 USD/tCO ₂ |
| 1 | (341.654.222) | (331.514.765) | (321.375.308) | (301.096.395) | (240.259.654) |
| 2 | (114.285.516) | 104.771.080) | 95.256.643) | (76.227.770) | (19.141.152) |
| 3 | (34.600.890) | (24.223.290) | (13.845.689) | 6.909.513 | 69.175.118 |
| 4 | 5.046.541 | 15.838.706 | 26.630.872 | 48.215.203 | 112.968.197 |
| 5 | 27.597.126 | 38.637.986 | 49.678.845 | 71.760.565 | 138.005.722 |
| 6 | 41.161.061 | 52.316.744 | 63.472.426 | 85.783.792 | 152.717.889 |
| 7 | 49.412.418 | 60.619.673 | 71.826.929 | 94.241.439 | 161.484.970 |
| 8 | 54.285.508 | 65.492.324 | 76.699.139 | 99.112.771 | 166.353.665 |
| 9 | 56.906.517 | 68.073.641 | 79.240.765 | 101.575.012 | 168.577.756 |
| 10 | 57.979.645 | 69.092.421 | 80.205.197 | 102.430.748 | 169.107.403 |
| 11 | 57.968.954 | 68.993.820 | 80.018.685 | 102.068.417 | 168.217.612 |
| 12 | 57.192.568 | 68.127.426 | 79.062.285 | 100.932.001 | 166.541.150 |
| 13 | 55.875.223 | 66.704.666 | 77.534.110 | 99.192.997 | 164.169.660 |
| 14 | 54.179.365 | 64.895.936 | 75.612.507 | 97.045.650 | 161.345.078 |
| 15 | 52.224.478 | 62.829.282 | 73.434.085 | 94.643.692 | 158.272.513 |

Sumber (Source): Data sekunder diolah (*Analysis of secondary data*)

Tabel 4 menunjukkan bahwa pada proyek aforestasi, daur optimal tegakan gmelina adalah sama pada tingkat harga karbon 0-50 USD/ton CO₂. Hal ini terjadi karena penerbitan VCU pada proyek aforestasi dilakukan pada tahun ke-1, yaitu waktu dimana jumlah karbon rata-rata lebih tinggi dari *baseline*. Karena *baseline* dalam proyek aforestasi relatif kecil (yaitu 1,6 ton CO₂/ha), sehingga pada tahun pertama, VCU telah dapat diterbitkan, dengan nilai VCU terdiskon relatif lebih rendah apabila diterbitkan kemudian. Karena pertumbuhan gmelina mencapai titik maksimum pada umur 8 tahun, yang ditandai dengan nilai riap rata-rata volume tahunan tertinggi (Indrajaya & Siarudin, 2015a), dan menurun setelah 8 tahun, maka setelah umur tersebut, pertumbuhan gmelina mengalami penurunan. Sementara itu, jumlah total karbon yang dapat dikreditkan dan dapat diterbitkan VCU untuk daur 10 tahun adalah dari tahun ke-1 hingga tahun ke-6. Tahun ke-7 hingga ke-10, tidak diterbitkan VCU karena jumlah total VCU yang dapat diterbitkan telah tercapai pada tahun ke-6 (Tabel 2).

Nilai NPV pada proyek B relatif lebih tinggi dibandingkan dengan nilai NPV pada proyek A. Hal ini terjadi karena *baseline* yang digunakan dalam proyek B relatif lebih rendah dibandingkan dengan proyek A, sehingga jumlah karbon yang dapat dikreditkan relatif lebih besar pada proyek B dibandingkan dengan proyek A. Oleh karena itu,

apabila memungkinkan, proyek aforestasi relatif lebih menguntungkan untuk dikembangkan dibandingkan dengan proyek memperpanjang daur tebangan, karena lebih tingginya nilai NPV pada semua tingkat harga karbon.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa harga karbon akan memengaruhi daur optimal tegakan gmelina pada proyek karbon VCS memperpanjang daur terbang. Sementara itu, pada proyek aforestasi VCS, tingkat harga karbon tidak memengaruhi daur optimal Faustmann. Nilai NPV proyek aforestasi relatif lebih tinggi dibandingkan nilai NPV proyek memperpanjang daur tebangan karena jumlah karbon yang dapat dikreditkan relatif lebih tinggi pada proyek aforestasi. Penelitian ini mengasumsikan tidak terjadinya kebocoran (*leakage*) dalam proyek karbon.

B. Saran

Petani hutan rakyat gmelina memiliki alternatif dalam pengelolaan hutan rakyatnya apabila mempertimbangkan pendapatan tidak hanya dari kayunya, tetapi juga pendapatan lainnya, misalnya

jasa lingkungan karbon. Simulasi perhitungan dalam penelitian ini memberikan gambaran bagaimana hutan rakyat *Gmelina* dikelola dengan juga memperhitungkan jasa lingkungan karbon. Penanaman kayu *Gmelina* pada padang rumput akan memberikan tambahan pendapatan yang cukup besar bagi petani tanpa harus memperpanjang daur optimalnya.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada M. Siarudin dan Anas Badrunasar yang telah membantu penulis dalam pengambilan data di lapangan dan analisis data. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Aris Sudomo dan Aji Winara yang terus memberikan semangat kepada penulis untuk terus berkarya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, C. (2001). *Production and consumption of carbon by fast growing species Gmelina arborea Roxb. in tropical plantation forest*. Paper presented at the Seminar on dipterocarp reforestation to restore environment through carbon sequestration, Yogyakarta.
- Asante, P., & Armstrong, G. (2016). Carbon sequestration and the optimal forest harvest decision under alternative baseline policies. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(5), 656-665.
- Astana, S., Obidzinski, K., Riva, W. F., Hardiyanto, G., Komarudin, H., & Sukanda, S. (2014). Implikasi biaya dan manfaat pelaksanaan SVLK terhadap sektor perkayuan skala kecil. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 11(3), 175-198.
- Dewan Nasional Perubahan Iklim. (2013). *Mari berdagang karbon! Pengantar pasar karbon untuk pengendalian perubahan iklim*. Jakarta: Dewan Nasional Perubahan Iklim.
- Diaz-Balteiro, L., & Rodriguez, L. C. (2006). Optimal rotations on Eucalyptus plantations including carbon sequestration: a comparison of results in Brazil and Spain. *Forest Ecology and Management*, 229(1), 247-258.
- Diniyati, D., & Awang, S. A. (2010). Kebijakan penentuan bentuk insentif pengembangan hutan rakyat di wilayah Gunung Sawal, Ciamis dengan metode AHP. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 7(2), 129-143.
- Foley, T. G., & Galik, C. S. (2009). Extending rotation age for carbon sequestration: a cross-protocol comparison of North American forest offsets. *Forest Ecology and Management*, 259(2), 201-209.
- Galinato, G. I., & Uchida, S. (2011). The Effect of Temporary Certified Emission Reductions on Forest Rotations and Carbon Supply. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 59(1), 145-164. doi: 10.1111/j.1744-7976.2010.01203.x
- Hoel, M., Holtsmark, B., & Holtsmark, K. (2014). Faustmann and the climate. *Journal of Forest Economics*, 20(2), 192-210.
- Huang, C.-H., & Kronrad, G. D. (2006). The effect of carbon revenues on the rotation and profitability of loblolly pine plantations in East Texas. *Southern Journal of Applied Forestry*, 30(1), 21-29.
- Indrajaya, Y., & Siarudin, M. (2013). Daur finansial hutan rakyat jabon di Kecamatan Pekenjeng, Kabupaten Garut, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 10(4), 201-211.
- Indrajaya, Y., & Siarudin, M. (2015a). Daur tebang optimal hutan rakyat *Gmelina* (*Gmelina arborea* Roxb.) di Tasikmalaya dan Banjar, Jawa Barat, Indonesia. *Jurnal Penelitian Sosial Ekonomi Kehutanan*, 12(2), 109-116.
- Indrajaya, Y., & Siarudin, M. (2015b). *The effects of carbon payment on optimal rotation of Gmelina forests*. Paper presented at the INAFOR 3, Bogor, Indonesia.
- Indrajaya, Y., & Sudomo, A. (2015). *Pengaruh tambahan pendapatan jasa lingkungan karbon terhadap daur optimal tegakan manglid di Jawa Barat*. Paper presented at the AFOCO Workshop "Pengembangan mata pencaharian alternatif untuk masyarakat lokal dalam upaya menghadapi dampak perubahan iklim", Bogor.
- IPCC. (2006). *IPCC Guideline 2006 Guidelines for national green house gas inventories: IPCC*. Diunduh dari <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Kollmuss, A., Lazarus, M., Lee, C., LeFranc, M., & Polycarp, C. (2010). *Handbook of carbon offset programs: trading systems, funds, protocols and standards*. Routledge. Diunduh dari <http://seius.org/publications/id/203>.
- Köthke, M., & Dieter, M. (2010). Effects of carbon sequestration rewards on forest management

- empirical application of adjusted Faustmann formulae. *Forest policy economics*, 12(8), 589-597.
- Olschewski, R., & Benitez, P. C. (2010). Optimizing joint production of timber and carbon sequestration of afforestation projects. *Journal of Forest Economics*, 16(1), 1-10. doi: DOI 10.1016/j.jfe.2009.03.002.
- Peters-Stanley, M., Hamilton, K., & Yin, D. (2012). *Leveraging the landscape: state of the forest carbon markets 2012*. Washington, DC: Ecosystem Marketplace.
- Roshetko, J. M., Mulawarman, & Purnomosidhi, P. (2004). *Gmelina arborea* - a viable species for smallholder tree farming in Indonesia? *New Forest*, 28, 207-215.
- Siarudin, M., Indrajaya, Y., Suhaendah, E., & Badrunasar, A. (2014). *Pemanfaatan lahan agroforestry untuk mendukung mekanisme REDD+*. (Laporan Hasil Penelitian). Ciamis: Balai Penelitian Teknologi Agroforestry, Badan Litbang Kehutanan.
- Verified Carbon Standard. (2013a). *Agriculture, forestry and other land use (AFOLU) requirements*. (VCS Version 3). Washington, DC: VCS Association.
- Verified Carbon Standard. (2013b). *Methodology for improved forest management through extension of rotation age (IFM ERA)*. (Approved VCS Methodology VM0003, Version 1.2): Verified Carbon Standard. Diunduh dari <http://database.v-c-s.org/methodologies/methodology-improvedforest-management-through-extensionrotation-age-v12>.
- World Bank. (2016). *World bank indicator. 1960-2015*. Diunduh 20 Mei 2016 dari <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.
- Zhou, W., & Gao, L. (2016). The impact of carbon trade on the management of short-rotation forest plantations. *Forest policy and economics*, 62, 30-35.